

DE4218599

Publication Title:

Navigation and guidance system for autonomous mobile robots - has sensors for input to neuronal network based controller that has learning capacity to determine direction and motion commands

Abstract:

A navigation and guidance system for use with mobile robot units uses inputs from a sensor (10) system mounted on the robot. This can be in the form of TV, radar or IR detectors. An additional sensor provides proximity or range information (12) and can be a laser unit.

Both sensor systems provide inputs to a navigation module (14) that is in the form of a neuronal network. The system has a learning capacity and is trained to generate direction and motion commands dependent upon the sensor inputs. The neuronal network is configured as 3 different types providing different classification categories.

USE/ADVANTAGE - Uses learning process to determine navigating actions.

Data supplied from the esp@cenet database - <http://ep.espacenet.com>



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 42 18 599 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 05 D 1/02

②1 Aktenzeichen: P 42 18 599.8
②2 Anmeldetag: 5. 6. 92
④3 Offenlegungstag: 16. 12. 93

DE 42 18 599 A 1

⑦1 Anmelder:
Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 88662
Überlingen, DE

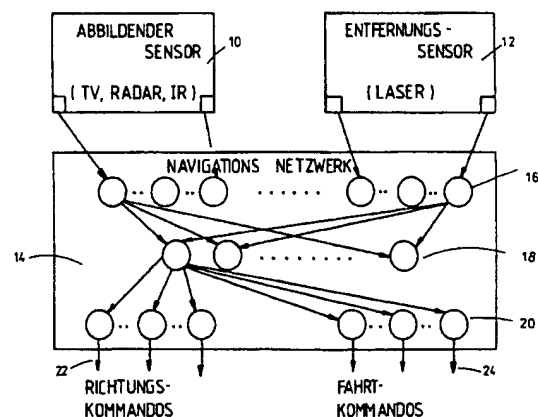
⑦4 Vertreter:
Weisse, J., Dipl.-Phys.; Wolgast, R., Dipl.-Chem. Dr.,
Pat.-Anwälte, 42555 Velbert

⑦2 Erfinder:
Krogmann, Uwe, 7770 Überlingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Navigations- und Führungssystem für autonome, mobile Roboter

⑤7 Ein Navigations- und Führungssystem für autonome, mobile Roboter enthält einen bilderfassenden Sensor (10), einen Entfernungssensor (12) und neuronale Netzwerkmittel (14; 26, 28, 30, 32), auf welche Daten von dem bilderfassenden Sensor (10) und von dem Entfernungssensor (12) aufgeschaltet sind und welche zur Erzeugung von Richtungs- und Fahrtkommandos aus den Daten der Sensoren trainiert sind.



DE 42 18 599 A 1

Die Erfindung betrifft ein Navigations- und Führungssystem für autonome, mobile Roboter.

Bei solchen autonomen, mobilen Robotern handelt es sich um autonome Systeme, die in der Lage sind, sich im Rahmen einer zielgerichteten Aufgabenstellung in einer Umgebung selbsttätig zu bewegen und zu orientieren. Darüberhinaus sollen sie die Fähigkeit besitzen, auf unvorhergesehene Ereignisse und Veränderungen in dieser Umgebung in einer Weise zu reagieren, daß die Ausführung der Aufgabe in Echtzeit weiter verfolgt werden kann.

Ein Teilaspekt dieser Problematik ist die Navigation und Führung des Roboters in der betreffenden Umgebung. Dazu gehört die Standortbestimmung, das Erkennen von Hindernissen und die Fahrwegplanung. Das ist mit herkömmlichen Rechnern praktisch nicht zu bewerkstelligen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Navigations- und Führungssystem für mobile Roboter zu schaffen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch einen bilderfassenden Sensor, einen Entfernungssensor und neuronale Netzwerkmittel, auf welche Daten von dem bilderfassenden Sensor und von dem Entfernungssensor aufgeschaltet sind und welche zur Erzeugung von Richtungs- und Fahrtkommandos aus den Daten der Sensoren trainiert sind.

Der mobile Roboter enthält einen bilderfassenden Sensor und einen Entfernungssensor. Diese Sensoren liefern Informationen über die Umgebung, in welcher sich der mobile Roboter bewegt. Sie gestatten dem Roboter, seinen Standort zu bestimmen und Hindernisse zu erkennen. Durch die neuronalen Netzwerkmittel wird der Roboter in die Lage versetzt, sich selbst zu organisieren, zu lernen sowie sich an unvorhergesehene, veränderliche Situationen in seiner Umgebung anzupassen. Der Roboter kann seinen Fahrweg planen und optimieren und seine Bewegungen dementsprechend regeln.

Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 ist ein Blockdiagramm und zeigt die Sensor-Netzwerk-Architektur bei einem Navigations- und Führungssystem für mobile Roboter.

Fig. 2 zeigt den Aufbau des neuronalen Netzwerkes zur Bestimmung eines Soll-Fahrweges.

Fig. 3 zeigt einen als neuronales Netzwerk ausgebildeten Führungsregler bei einem Navigations- und Führungssystem für mobile Roboter.

Fig. 4 zeigt die Architektur für das Trainieren des neuronalen Netzwerkes.

Fig. 5 ist das Ergebnis einer Simulation und zeigt, wie der mobile Roboter einem vorher trainierten Fahrweg folgt.

Fig. 6 ist ebenfalls das Ergebnis einer Simulation ähnlich Fig. 5 und zeigt, wie der mobile Roboter einen vorher nicht trainierten Weg sucht.

Fig. 1 zeigt die grundlegende Sensor-Netzwerk-Architektur eines Navigations- und Führungssystems für mobile Roboter. Der mobile Roboter enthält einen bilderfassenden Sensor 10. Das kann ein Videosensor, ein Radarsensor oder ein Infrarotsensor sein. Der Sensor 10 liefert Pixel, die ein Bild des von dem Sensor erfaßten

Gesichtsfeldes darstellen. Der bilderfassende Sensor kann z. B. eine Pixelmatrix mit 32×32 Pixeln liefern. Weiterhin enthält der mobile Roboter einen Entfernungssensor 12. Das kann ein Laser-Entfernungsmesser sein. Auch der Entfernungssensor ist "bilderfassend" in dem Sinne, daß er die Entfernungen zu den verschiedenen Punkten des abgetasteten Gesichtsfeldes erfaßt und somit ein räumliches Profil liefert. Der Laser Entfernungsmesser kann beispielsweise 8×32 Pixel liefern. Die Ausgangsdaten des bilderfassenden Sensors 10 und des Entfernungssensors 12 sind auf ein neuronales Netzwerk 14 geschaltet. Das neuronale Netzwerk 14 ist ein dreischichtiges Netzwerk mit einer Eingangsschicht 16, einer "verborgenen" Schicht 18 und einer Ausgangsschicht 20. Das neuronale Netzwerk ist ausschließlich vorwärts vernetzt. Es enthält keine Verbindungen innerhalb einer Schicht und keine Rückführungen. Dadurch ist die Stabilität des Netzwerkes gewährleistet. Das neuronale Netzwerk 14 liefert nach geeignetem Training an einem Ausgang 22 Richtungskommandos und an einem Ausgang 24 Fahrtkommandos zur Bestimmung der Fahrtrichtung und Geschwindigkeit des mobilen Roboters.

Diese Information wird in einem neuronalen Führungssystem des mobilen Roboters weiterverarbeitet.

Das Netzwerk 14 wird überwacht trainiert mit realen oder simulierten Szenen oder Umgebungsdaten. Das Training erfolgt mit Hilfe des "Backpropagation"-Algorithmus.

Bei einfachen mobilen Robotern können die Richtungs- und Fahrtkommandos, wie sie von dem neuronalen Netz 14 ausgegeben werden, direkt auf Stellglieder des Roboters aufgeschaltet werden. Das ist insbesondere möglich, wenn es sich um Einsätze in weitgehend strukturierter Umgebung handelt. Mobile Roboter für Einsätze in unstrukturierter und möglicherweise nicht-kooperativer Umgebung erfordern eine Struktur des Führungssystems, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist.

Die Netzwerkmittel enthalten dort ein erstes neuronales Netzwerk 26. Auf das neuronale Netzwerk 26 sind die Daten von dem bilderfassenden Sensor 10 und dem Entfernungssensor 12 aufgeschaltet. Das neuronale Netzwerk 26 ist so trainiert, daß es die Daten des bilderfassenden Sensors 10 und des Entfernungssensors 12 zunächst strukturiert. Es werden Merkmale, Cluster, Kategorien etc. extrahiert. Hierzu werden als Netzwerkstrukturen selbstorganisierende Merkmalskarten und adaptive Resonator-Technologien verwendet.

Die so strukturierten Daten werden in einem zweiten neuronalen Netzwerk 28 einem Klassifikationsprozeß unterworfen. Das Netzwerk 28 ist ein "Backpropagation"-Netzwerk oder ein "Assoziativspeicher"-Netzwerk.

Basierend auf den Ergebnissen der Datenstrukturierung und der Klassifikation werden durch ein weiteres neuronales Netzwerk 30 mögliche Fahrwege generiert. Aus diesen Fahrwegen wird ein optimaler Fahrweg ausgewählt. Für diese Optimierungsaufgabe wird als Netzwerk 30 ein "Hopfield"-Netzwerk verwendet. Das Netzwerk 30 liefert als Ergebnis der Fahrweg-Planung einen Soll-Fahrweg für das jeweils aktuelle Planungsintervall. Ein solcher Soll-Fahrweg kann beschrieben werden durch drei zeitabhängige Variablen $X(t)$, $Y(t)$ und $\Psi(t)$, wobei $X(t)$ die Nord-Positionskoordinate, $Y(t)$ die Ost-Positionskoordinate und der Winkel $\Psi(t)$ die Richtung der Bezugsachse des mobilen Roboters in dem Navigationsreferenzsystem des Einsatzgebietes angibt. Diese Daten des Soll-Fahrwegs können in einem Soll-Zu-

1. Navigations- und Führungssystem für autonome, mobile Roboter, **gekennzeichnet durch** einen bild-erfassenden Sensor (10), einen Entfernungssensor (12) und neuronale Netzwerkmittel (14; 26, 28, 30, 32), auf welche Daten von dem bilderfassenden Sensor (10) und von dem Entfernungssensor (12) aufgeschaltet sind und welche zur Erzeugung von Richtungs- und Fahrtkommandos aus den Daten der Sensoren trainiert sind.
2. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Netzwerk (14) drei Schichten (16, 18, 20) enthält und ausschließlich vorwärts vernetzt ist.
3. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 1 gekennzeichnet durch
 - a) ein erstes neuronales Netzwerk (26) dessen Netzwerkarchitektur selbstorganisierenden Merkmalskarten oder adaptive Resonator-Technologien verwendet zum Strukturieren der Sensordaten mit dem Ziel, Merkmale, Cluster, Kategorien etc zu extrahieren,
 - b) ein zweites neuronales Netzwerk (28) vom Typ "Backpropagation" oder "Assoziativspei-

- cher" auf welches strukturierte Ausgangsdaten des ersten neuronalen Netzwerkes (26) aufgeschaltet sind zur Durchführung eines Klassifikationsprozesses mit den strukturierten Daten, und
- c) ein drittes neuronales Netzwerk (30) vom "Hopfield"-Typ zur Generierung möglicher Fahrwege des mobilen Roboters (34) und einer Optimierung des Fahrweges basierend auf dem Ergebnis der Strukturierung der Daten und der Klassifikation, wobei der optimierte Fahrweg durch einen Soll-Zustandsvektor ($Z_D(t)$) dargestellt ist.
4. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Soll-Zustandsvektor ($Z_D(t)$) auf einen mit einem neuronalen Netz (32) aufgebauten Regler (33) aufgeschaltet ist, der Stellsignale ($u(t)$) für Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung erzeugt, derart daß der Zustandsvektor ($Z(t)$) des mobilen Roboters dem Soll-Zustandsvektor ($Z_D(t)$) folgt.
5. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Regler (33) ein dreischichtiges neuronales Netzwerk (32) aufweist.
6. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß
- a) der zeitabhängige Soll-Zustandsvektor ($Z_D(t)$) durch Abtastmittel (40) in festen Abtastperioden (T) abtastbar ist, so daß abgetastete Soll-Zustandsvektoren ($Z_D(nT)$) erhalten und auf den Regler (33) aufgeschaltet werden,
 - (b) das neuronale Netzwerk (32) eine Mehrzahl von Eingängen (46, 48 ... 50) aufweist, die eine Reihe von einem ersten bis zu einem letzten Eingang (46 bzw. 50) geordnet sind,
 - (c) eine Mehrzahl von Verzögerungsgliedern (42, 44 ...) vorgesehen ist, die zwischen den Eingängen (46, 48, ... 50) des neuronalen Netzwerkes (32) liegen und jeweils eine Verzögerung um eine Abtastperiode bewirken, und
 - (d) die abgetasteten Soll-Zustandsvektoren ($Z_D(nT)$) auf den ersten Eingang (46) der Reihe aufschaltbar sind.
7. Navigations- und Führungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß
- a) der Regler (33) eine Rückführschleife (54) aufweist, über welche Stellvektoren ($u(nT)$) auf weitere Eingänge (60, ... 62) aufschaltbar sind, die in einer Reihe von einem ersten (60) zu einem letzten Eingang (62) geordnet sind,
 - b) eine Mehrzahl von Verzögerungsgliedern (56, 58, ...) vorgesehen sind, die in der Rückführschleife (54) vor und zwischen den weiteren Eingängen (60, ... 62) angeordnet sind und jeweils eine Verzögerung um eine Abtastperiode bewirken, und
 - c) die Stellvektoren ($u(nT)$) jeweils auf das dem ersten Eingang (60) vorgeschaltete Verzögerungsglied (56) aufgeschaltet sind.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

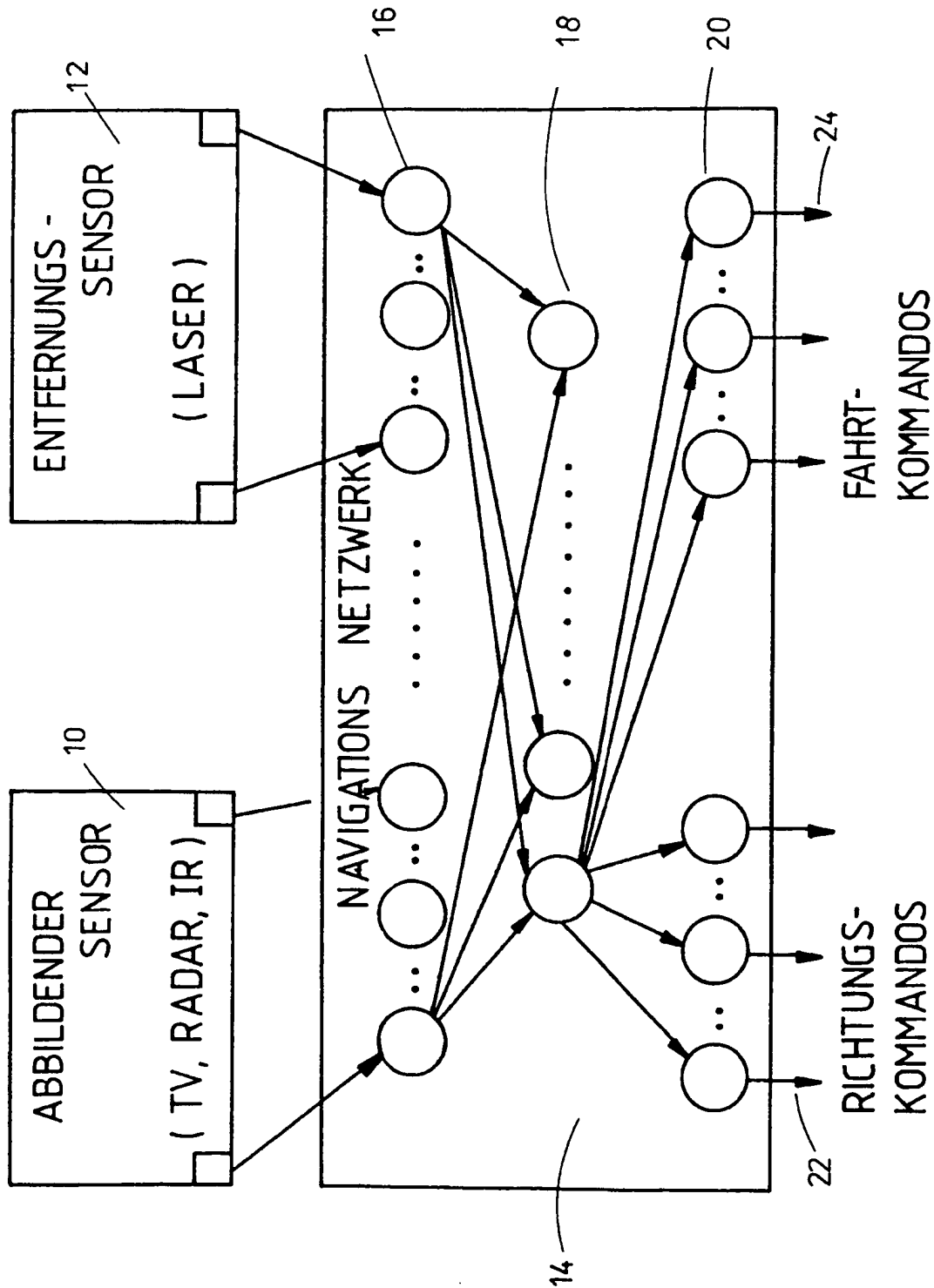


Fig.1

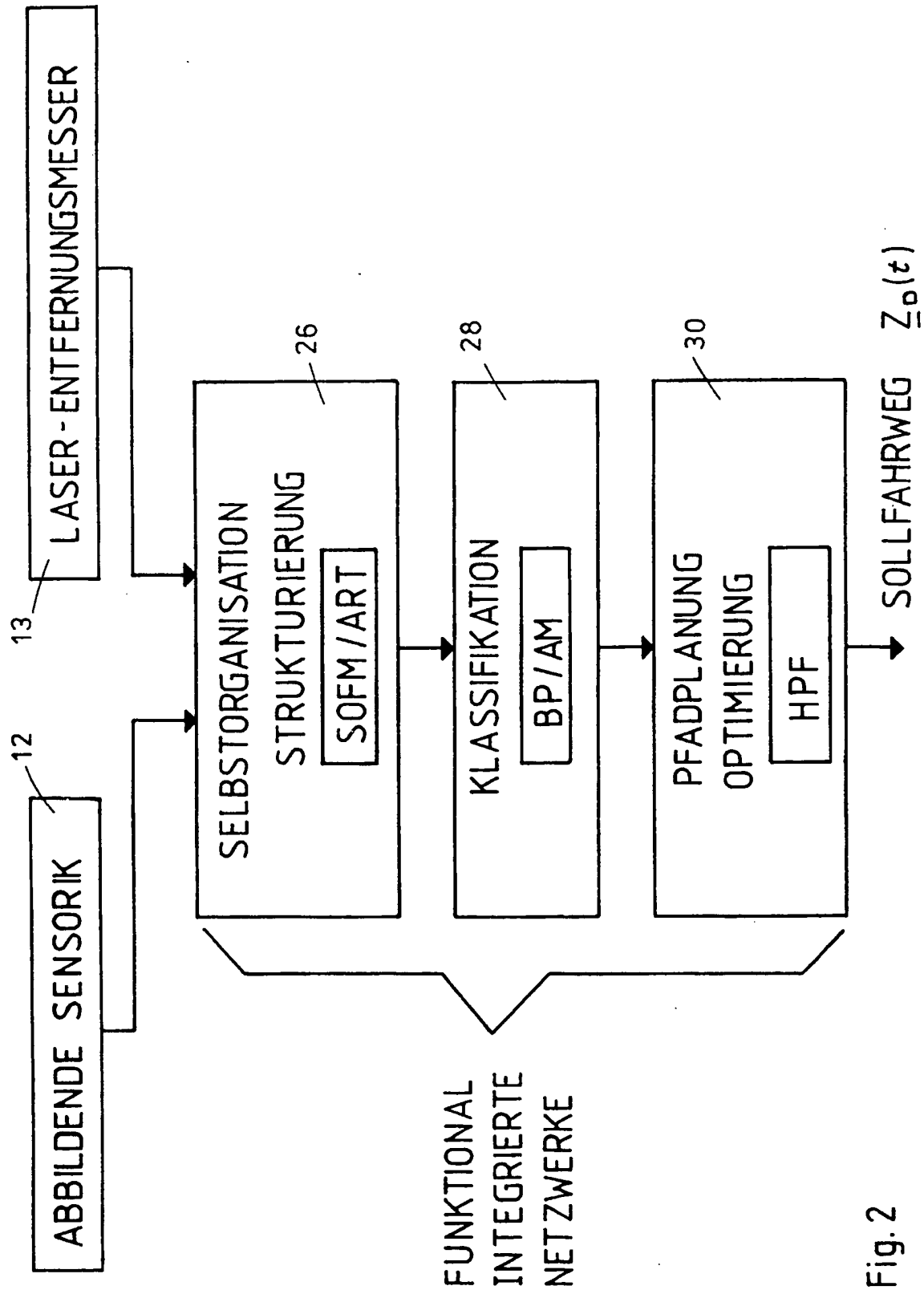


Fig. 2

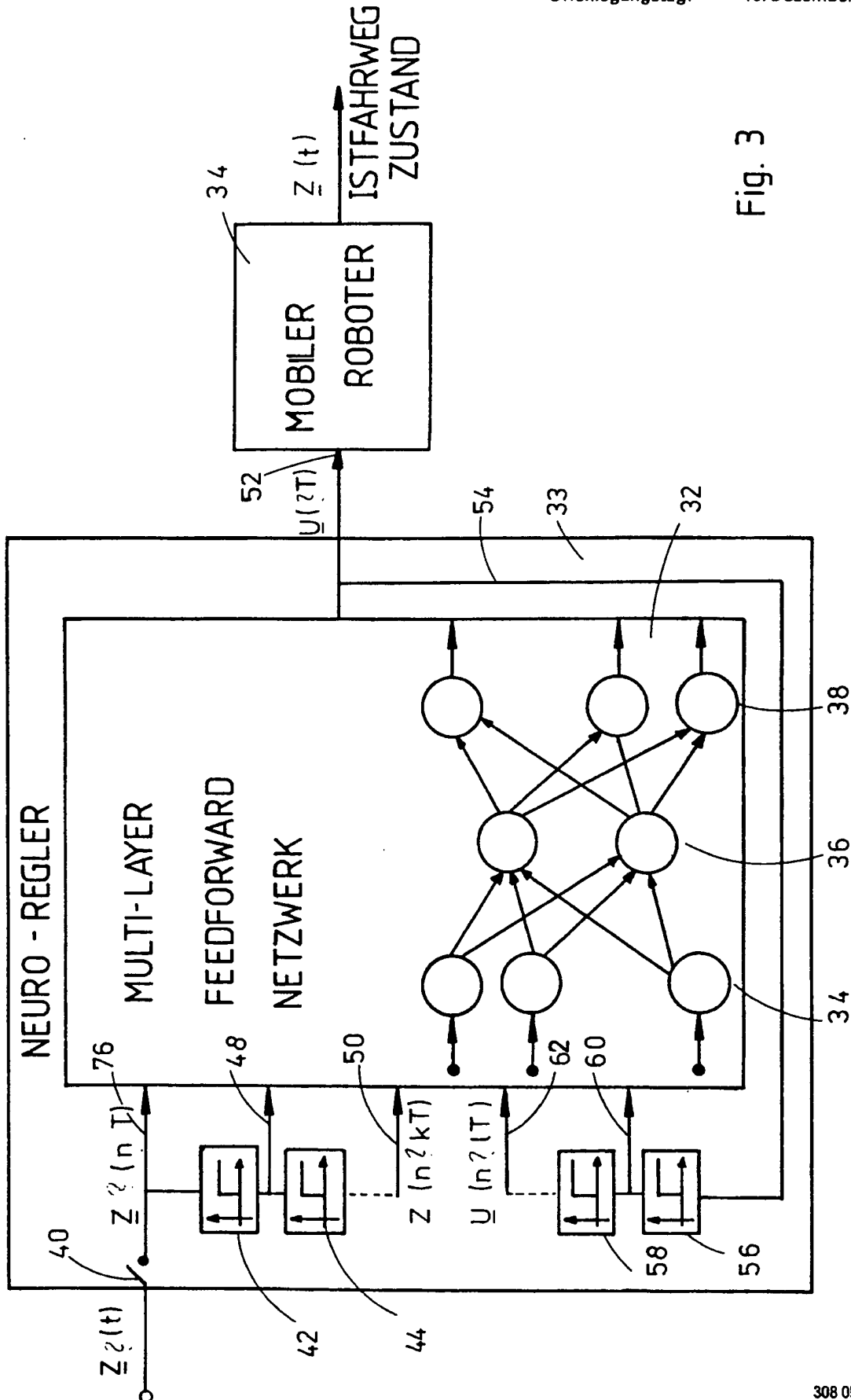


Fig. 3

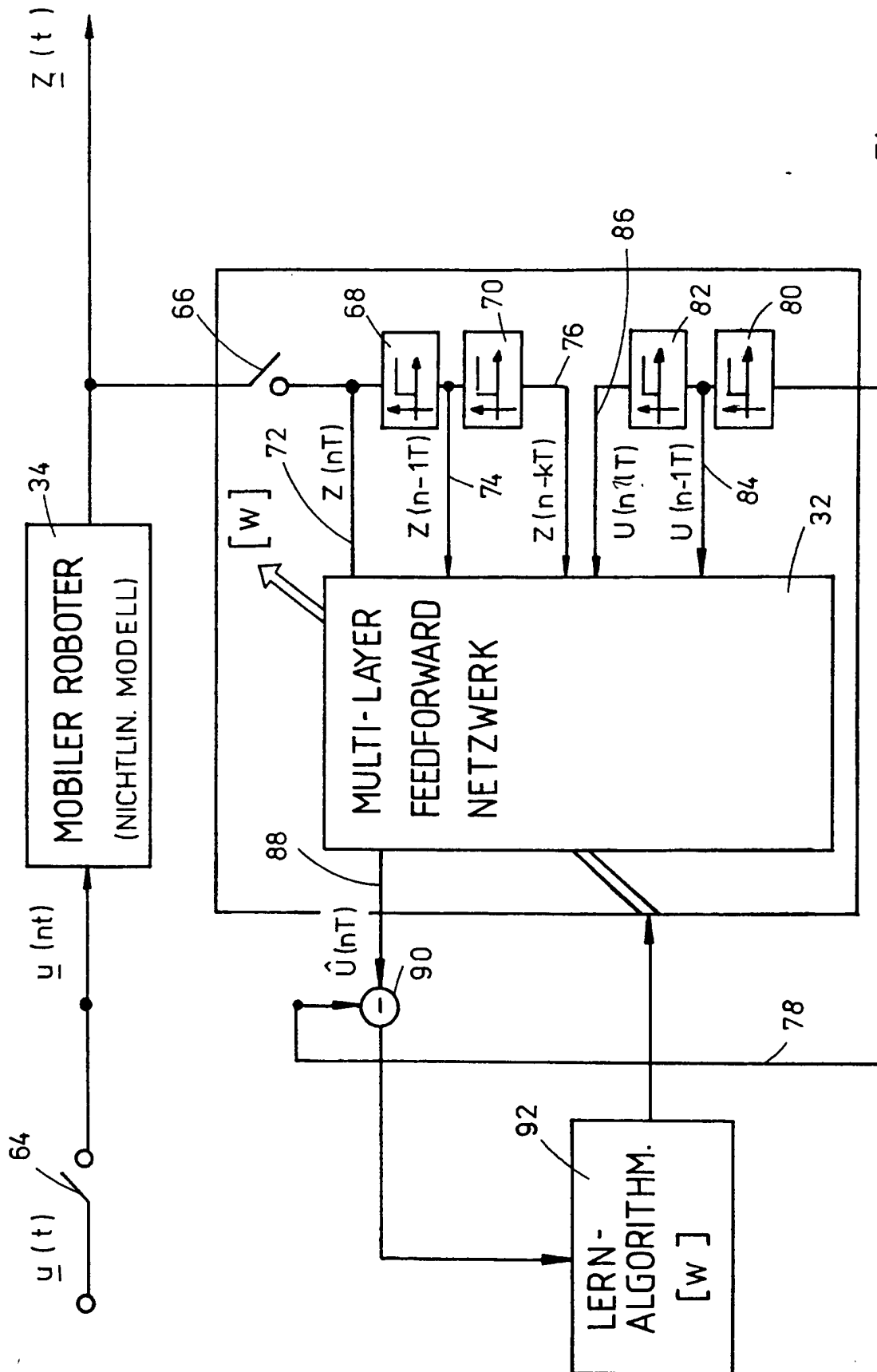


Fig. 4

TRAINED TRACKING

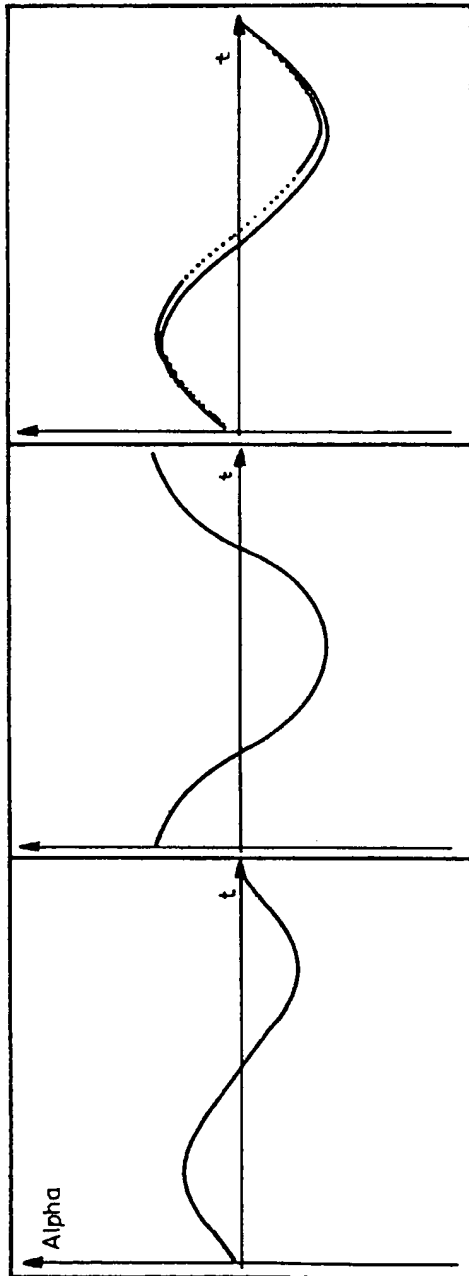


Fig. 5

TEST TRACKING

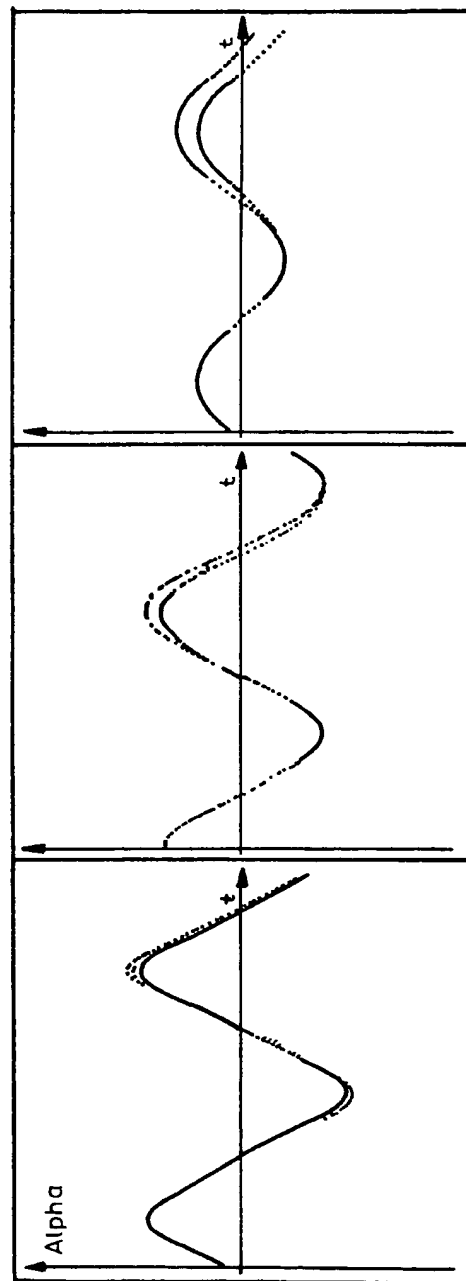


Fig. 6